



(19) **RU** (11) **2 085 972** (13) **C1**  
(51) МПК<sup>6</sup> **G 01 V 5/00, G 01 N 23/00**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 92001547/25, 19.10.1992

(46) Дата публикации: 27.07.1997

(56) Ссылки: 1. Gillard J. et all. Указатель отечественных и зарубежных материалов. - 1990, вып.3, N 32. 2. Ariete M.G. et all. Указатель отечественных и зарубежных материалов. - 1990, вып.2, N 135. 3. Aarkrog A. et all. Указатель отечественных и зарубежных материалов. - 1991, вып.2, N 130.

(71) Заявитель:  
Обнинский институт атомной энергетики

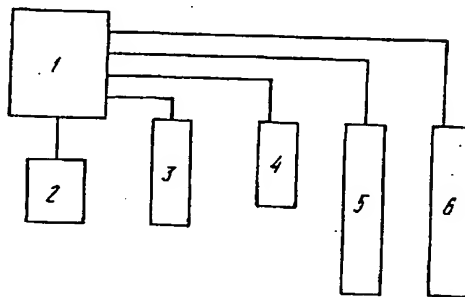
(72) Изобретатель: Изгородин В.М.,  
Мохров А.Т., Струэнзе Р.Л., Трофимов А.И.

(73) Патентообладатель:  
Обнинский институт атомной энергетики

(54) СПОСОБ КОНТРОЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВОГРУНТАХ

(57) Реферат:

Использование: при контроле загрязнения природных сред для исследования вертикальной миграции радионуклидов в почво-грунтах. Сущность изобретения объемную гамма- и бета-активность почво-грунтов измеряют непрерывно, послойно, без нарушения структуры почво-грунтов, причем одновременно измеряют влажность контролируемых слоев почво-грунтов и определяют корреляцию между миграцией радионуклидов и водным балансом в почво-грунтах в месте контроля. 1 ил.



RU 2 085 972 C1

RU 2 085 972 C1



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 085 972** <sup>(13)</sup> **C1**  
(51) Int. Cl.<sup>6</sup> **G 01 V 5/00, G 01 N 23/00**

RUSSIAN AGENCY  
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 92001547/25, 19.10.1992

(46) Date of publication: 27.07.1997

(71) Applicant:  
Obninskij institut atomnoj ehnergetiki

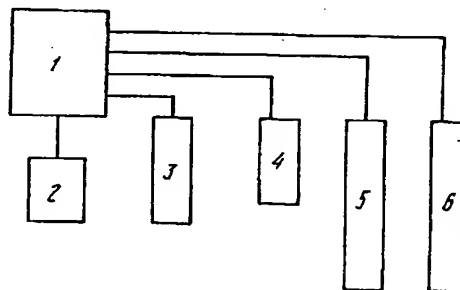
(72) Inventor: Izgorodin V.M.,  
Mokhrov A.T., Struehnze R.L., Trofimov A.I.

(73) Proprietor:  
Obninskij institut atomnoj ehnergetiki

(54) METHOD FOR MONITORING OF VERTICAL MIGRATION OF RADIO NUCLIDES IN SOIL

(57) Abstract:

FIELD: methods for checking pollution of environment. SUBSTANCE: method involves continuous measuring of three-dimensional gamma- and beta- radiation in soil in layers without destruction of soil structure. Simultaneously method involves measuring moisture in monitored layers of soil and calculation of correlation between migration of nuclides in soil. EFFECT: increased functional capabilities. 1 dwg



RU 2 085 972 C1

RU 2 085 972 C1

Изобретение относится к способам контроля загрязненности природных сред, а именно к способам контроля вертикальной миграции радионуклидов в почво-грунтах, и может быть использовано для контроля вертикальной миграции радионуклидов в зонах, прилегающих к АЭС, местам захоронения радиоактивных отходов, комбинатам по производству радиоактивных материалов, а также в местностях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварий на ядерных объектах, и на полигонах ядерных испытаний [1 и 2]

Известен способ контроля вертикальной миграции радионуклидов в почво-грунтах путем отбора проб с различных слоев почво-грунтов и последующего определения объемной активности отобранных проб радиохимическими методами; вертикальную миграцию радионуклидов контролируют по изменению объемной активности в слоях почво-грунтов во времени [3]

Недостатками известного способа являются:

разрушение измеряемого слоя почво-грунтов в месте контроля, что не позволяет производить периодические определения объемной активности в одном и том же месте и, следовательно, получать полностью достоверные результаты;

невозможность точного определения глубины залегания и толщины слоя почво-грунтов, с которого отбирается проба, что не позволяет достаточно достоверно устанавливать распределение радионуклидов по слоям почво-грунтов;

невозможность непрерывного контроля за распределением радионуклидов по слоям почво-грунтов, что не позволяет определить динамические характеристики миграции;

сложная технология радиохимического анализа проб, что приводит к большим трудозатратам;

не обеспечивается безопасность персонала при отборе проб, так как в отобранной пробе, либо в месте отбора пробы могут оказаться радиоактивные частицы с большой активностью.

Существует необходимость одновременно с контролем миграции производить измерения влажности почво-грунтов для нахождения корреляции между миграцией радионуклидов и водным балансом в почво-грунтах в месте контроля. Цель изобретения повышение достоверности контроля вертикальной миграции радионуклидов в почво-грунтах, получение возможности определения динамических характеристик миграции, получение возможности определения корреляции между миграцией радионуклидов и водным балансом в почво-грунтах в месте контроля, снижение трудоемкости контроля и повышение безопасности персонала.

Это достигается за счет того, что объемную активность измеряют непосредственно в месте контроля непрерывно, послойно, без нарушения структуры почво-грунтов; причем одновременно измеряют влажность контролируемых слоев почво-грунтов и определяют корреляцию между миграцией радионуклидов и водным балансом в почво-грунтах в месте контроля.

Предлагаемый способ реализуется с помощью специально разработанной системы

контроля вертикальной миграции радионуклидов в почво-грунтах (АСКМР).

На фиг. 1 представлена упрощенная схема системы АСКМР, разработанной для осуществления предлагаемого способа.

Система содержит блок микропроцессорный 1, блок аккумуляторный 2, устройства детектирования 3, 4 и 5, влагомер нейтронный 6.

Устройство детектирования 3 предназначено для преобразования гамма-излучения гамма-излучающих нуклидов, содержащихся в почво-грунтах, в электрические сигналы и передачи этих сигналов в блок микропроцессорный 1.

Устройство детектирования 4 предназначено для преобразования бета-излучения бета-излучающих нуклидов, содержащихся в почво-грунтах, в электрические сигналы и передачи этих сигналов в блок микропроцессорный 1.

Устройство детектирования 5 выполняет те же функции, что и устройства детектирования 3 и 4, но располагается в водоносном горизонте.

Устройства детектирования 3 и 4 выполнены так, что могут получать информацию послойно до глубины 2,5 м при толщине контролируемого слоя 10 мм, а устройство детектирования 5 получает информацию только с водоносного горизонта.

Блок микропроцессорный 1 управляет работой всей системы, анализирует сигналы, приходящие с устройств детектирования, с целью определения объемной активности любого выбранного радионуклида, запоминает полученные значения объемной активности, влажности, даты и время всех измерений. Информация, хранящаяся в блоке микропроцессорном 1, может быть перенесена по окончании работы в память персональной ЭВМ типа IBM PC для представления в удобном для пользователя виде (таблицы, графики и т.д.).

Влагомер предназначен для измерения влажности в различных слоях почво-грунтов вплоть до водоносного горизонта. Измеренные значения влажности передаются в блок микропроцессорный.

Блок аккумуляторный 6 предназначен для обеспечения энергией всей системы в полевых условиях, что позволяет системе работать в автоматическом автономном режиме без участия оператора.

Все устройства детектирования, а также влагомер устанавливаются стационарно в месте контроля, что обеспечивает контроль миграции в одном и том же месте, в то время, как при отборе проб необходимо пробурить столько скважин, сколько слоев почво-грунтов необходимо контролировать; причем при периодическом контроле это количество умножается на число операций контроля.

Точность контроля глубины залегания и толщины слоя почво-грунтов при использовании предлагаемого способа во много раз превышает точность контроля при отборе проб. Это объясняется тем, что система АСКМР устанавливается стационарно, следовательно, нулевой уровень, от которого производится отсчет глубины залегания расположен постоянно на одной отметке, необходимая точность установки датчиков устройств АСКМР при контроле слоев почво-грунтов

обеспечивается конструкторскими решениями.

Датчик устройства детектирования 3 по командам блока микропроцессорного перемещается к тому слою почво-грунтов, который необходимо контролировать. По окончании измерения объемной активности выбранного слоя датчик перемещается к следующему слою. По окончании измерения всех слоев цикл измерений повторяется. Так как время цикла во много раз меньше, чем время миграции радионуклидов от слоя к слою, то контроль практически является непрерывным.

Датчик устройства детектирования 4 неподвижен. Он измеряет объемную активность одновременно во всех выбранных слоях почво-грунтов. Начало и конец цикла измерений задаются блоком микропроцессорным. Время цикла также, как и в предыдущем случае, много меньше времени миграции радионуклидов от слоя к слою.

Датчик устройства детектирования 5 устанавливается в водоносном горизонте. Он неподвижен и измеряет объемную активность радионуклидов также непрерывно. Таким путем обеспечивается непрерывность контроля миграции радионуклидов.

Влагомер 6 перемещается по командам блока микропроцессорного по всем выбранным заранее слоям почво-грунтов, вплоть до водоносного горизонта. Он измеряет важность почво-грунтов одновременно с измерениями объемной активности устройствами детектирования.

Таким путем обеспечивается одновременное измерение объемной активности и влажности почво-грунтов.

Безопасность персонала обеспечивается тем, что система АСКМР работает без участия оператора. Вся полученная информация может быть передана в пункт контроля по кабелю связи, либо по радиоканалу.

Отсутствие прототипов заявляемого способа позволяет сделать вывод о том, что этот способ соответствует критерию "новизна".

Анализ известного способа позволяет сделать вывод об отсутствии в нем принципов, сходных с существенными

отличительными признаками в заявляемом способе, и признать предлагаемое изобретение соответствующим критерию "существенные отличия".

Практическое применение способ может иметь в зоне Чернобыльской АЭС, в Челябинской области, на Семипалатинском ядерном полигоне и т.д.

Материалы, использованные при составлении заявки:

1. Gillard I; Fiemal I.M. Demorm I.P. Slegel W. Измерение естественной радиации на территории Бельгии, 1989. Указатель отечественных и зарубежных материалов. 1990. вып. 3, номер 32 (9).

2. Ariete M.G. Belvisi M. и др. Результаты осуществления широкой национальной программы по радиологическому контролю окружающей среды. 1989. Указатель отечественных и зарубежных материалов. 1990, вып. 2, номер 135 (45).

3. Aarkrog A. Boetter-lensen L. Hansen H. Радиоактивное загрязнение окружающей среды в Дании в 1987 г. 1989. Указатель отечественных и зарубежных материалов. 1991, вып.2, номер 130 (44).

### Формула изобретения:

Способ контроля вертикальной миграции радионуклидов в почвогрунтах путем измерения изменения объемных гамма- и бета-активностей почвогрунтов во времени, отличающийся тем, что объемные гамма- и бета-активности почвогрунтов измеряют с определенной цикличностью без нарушения структуры почвогрунтов во время измерения, при этом объемную гамма-активность измеряют послойно, а объемную бета-активность одновременно во всех выбранных слоях, вертикальную миграцию радионуклидов в почвогрунтах определяют по изменению объемных гамма- и бета-активностей слоев почвогрунтов во времени, причем одновременно измеряют влажность контролируемых слоев почвогрунтов нейтронным влагомером и определяют корреляцию между миграцией радионуклидов и влажностью почвогрунтов путем сравнения изменений объемных гамма- и бета-активностей слоев почвогрунтов с изменениями влажности этих же слоев в течение определенного промежутка времени.

RU 2085972 C1

RU 2085972 C1

## $^{37}\text{Ar}$ 用于视察地下核试验的尝试

段荣良, 刘素萍, 杨晓波, 陈银亮, 龚健, 刘书行, 姚琼英, 熊宗华

(中国工程物理研究院 核物理与化学研究所, 四川 成都 610003)

**摘要:**对地下核爆泄漏气体中放射性核素 $^{37}\text{Ar}$ 进行取样、提纯及测量,并研究了泄漏速率随时间和位置的变化规律。结果表明:监测土壤中 $^{37}\text{Ar}$ 的含量可有效地核查地下核试验。

**关键词:**核试验;现场视察;放射性核素; $^{37}\text{Ar}$

**中图分类号:** TL751

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-6931(2000)03-0270-04

全面核禁试条约(CTBT)执行的监测要求有具体的核查技术作保障。到目前为止,地震监测、放射性核素监测、水声监测及次声监测已被签约国公认。但放射性核素监测尤为值得一提,因为爆炸的放射性产物是核爆的确凿证据。核爆产生的气态放射性核素有 $^{133}\text{Xe}$ 、 $^{135}\text{Xe}$ 、 $^{85}\text{Kr}$ 及 $^{37}\text{Ar}$ <sup>[1]</sup>。虽然 $^{133}\text{Xe}$ 、 $^{135}\text{Xe}$ 的活度相对高些,但因其寿命较短,对现场核查(OSI)有时间限制;而 $^{85}\text{Kr}$ 天然本底较高,增加了判别核事件类型的难度。 $^{37}\text{Ar}$ 属于地下核爆炸特征活化产物,是由核爆时围岩介质中 $^{40}\text{Ca}(n,\alpha)^{37}\text{Ar}$ 反应产生的,具有天然本底低及寿命适中的优点,便于检测。R.C. Runcney<sup>[2]</sup>曾建议将它作为核爆炸核查取证的对象,并取远场大气样品作过分析,但未从样品中测到 $^{37}\text{Ar}$ ,因而无法对 $^{37}\text{Ar}$ 应用于现场核查的可行性作出定论。

### 1 实验方法和数据

采用3种取样方法:1)直接取场区大气样品;2)将“针管型”取样装置插入地下0.8~1.2 m,取土壤间隙中的气体样品;3)在场区地面覆盖富集膜,然后引入取样管道,从富集膜中抽取渗透出地面的气体样品。取样情况列于表1。每个样品的体积均为40 L。

泄漏气体样品经除水、二氧化碳和氩后,被吸附在一定温度下的分子筛中,当处理样品量达到要求时,停止吸附;控制吸附柱温度,让样品中的He、Ne、 $\text{H}_2$ (HT)、Ar( $^{37}\text{Ar}$ )、 $\text{O}_2$ 、 $^{85}\text{Kr}$ 、 $\text{N}_2$ 等组分依次解吸,收集 $^{37}\text{Ar}$ ;用 $\text{CH}_4$ 将 $^{37}\text{Ar}$ 流洗冲入自装 $\beta$ 正比计数器,制成测量源,并测量 $^{37}\text{Ar}$ 的放射性浓度(表1)。

从表1可以看到,土壤样品中 $^{37}\text{Ar}$ 的浓度比其在大气样品和富集膜样品中高许多。故在实施过程中,以针管取土壤间隙的气体样品为主。

收稿日期:1998-05-21;修回日期:1998-07-15

作者简介:段荣良(1965—),男,四川资中人,助理研究员,放射化学专业

表 1 泄漏气体中  $^{37}\text{Ar}$  的放射性浓度Table 1  $^{37}\text{Ar}$  radioactive concentration in the venting gas samples

样品代号	采样位置	采样方式	采样时刻	测量时刻	$C(t)/\text{Bq}\cdot\text{L}^{-1}$
T2-3(1)	爆心西北 60 m	针管	核爆后第 10 天	核爆后第 11 天	113 692
T2-3(2)			核爆后第 20 天	核爆后第 20 天	93 717
T2-4(1)	爆心以西 550 m	针管	核爆后第 10 天	核爆后第 20 天	0.7
T2-5(1)	爆心西北 65 m	富集膜	核爆后第 5 小时	核爆后第 20 天	11 669
T2-5(2)			核爆后第 8 小时	核爆后第 20 天	9 122
T2-6(1)	爆心以南 30 km	大气	核爆后第 10 小时	核爆后第 7 天	-
T2-6(2)	爆心以南 35 km	大气	核爆后第 10 小时	核爆后第 7 天	-
T2-7	爆心西北 60 m	大气	核爆后第 20 天	核爆后第 20 天	80.8

研究表明:核爆后 46 d 内,土壤气体样品中  $^{37}\text{Ar}$  的浓度为  $0.7 \sim 113\,692\text{ Bq/L}$ ,它是天然本底  $4.67 \times 10^{-7}\text{ Bq/L}$  的  $10^6 \sim 10^{11}$  倍。

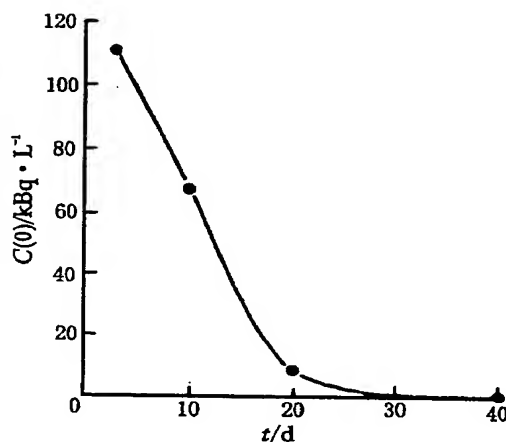
在爆心以南 30 km 和 35 km,核爆后 10 h 的大气样品中未能测到  $^{37}\text{Ar}$ 。这说明此样品中  $^{37}\text{Ar}$  的浓度低于监测系统的监测限  $0.2\text{ Bq/L}$ 。由于化学流程和物理测量的条件限制,实验中处理核爆泄漏气体的最大量为 40 L,  $^{37}\text{Ar}$  的提纯产额为 70 % ~ 90 %,正比计数器的计数效率为 89 %,本底计数率为  $4\text{ s}^{-1}$ 。

## 2 $^{37}\text{Ar}$ 泄漏速率随时间的变化

在同一取样点,核爆后采集不同时刻的泄漏气体样品,测量其  $^{37}\text{Ar}$  的放射性浓度  $C(t)$ 。 $C(t)$  随时间的变化主要取决于泄漏速率的变化和放射性衰变。为了研究  $^{37}\text{Ar}$  的泄漏规律,将  $C(t)$  值按衰变规律推算到零时刻  $C(0)$ 。由于取样装置、取样瓶体积和取样操作时间每次基本相同,因此,可以用  $C(0) \sim t$  曲线近似描述  $^{37}\text{Ar}$  的泄漏速率随时间的变化(图 1)。

从图 1 可以看出:泄漏速率先迅速下降,随着时间的推移,下降速度逐渐变慢,并趋于一常量。核爆后空腔中的气体气压为  $1 \sim 2\text{ MPa}$ ,它与周围环境的压差极大,使得爆后极短时间内爆炸气体向四周射流,形成泄漏速率的急剧下降;随后,空腔中压力呈指数下降,它与周围环境的压差逐渐减小,最终趋于平衡,使得爆炸气体在介质中的扩散变缓,从而导致气体泄漏速率逐渐变缓和稳定。

除压差因素外,土壤对  $^{37}\text{Ar}$  的吸附作用对  $^{37}\text{Ar}$  泄漏速率的变缓也有很大的影响。无论围岩介质是碳酸盐还是硅酸盐,对  $^{37}\text{Ar}$  等放射性核素均有一定的吸附作用,使得它们在土壤中有相当长一段时间的保留,结果使放射性核素扩散进入大气的速度大大减慢。此外,根据气体扩

图 1  $^{37}\text{Ar}$  的泄漏速率随时间的变化曲线Fig. 1 Response of  $^{37}\text{Ar}$  venting rate as explosion time for an underground nuclear test

散理论,离地面越深,围岩介质空隙中的气体与地面大气交换的速率越慢,对应气体样品中 $^{37}\text{Ar}$ 的浓度也越高。

### 3 $^{37}\text{Ar}$ 泄漏速率与位置之间的关系

在同一取样时刻(核爆后第20天),采集距爆心不同位置的泄漏气体样品,研究 $^{37}\text{Ar}$ 泄漏速率与位置之间的关系。结果示于图2和图3。

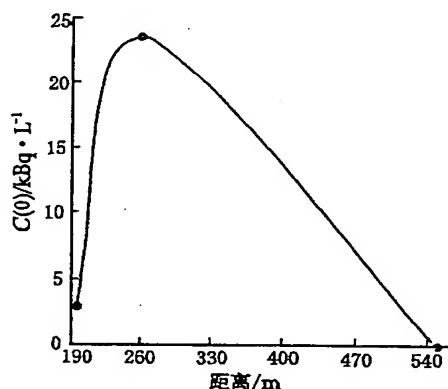


图2 T1核试验(万吨级)中  
 $^{37}\text{Ar}$ 泄漏速率与位置之间的关系  
Fig.2 Response of  $^{37}\text{Ar}$  venting rate  
as explosion distance for T1 underground  
nuclear test (with a yield of tens of kilotons)

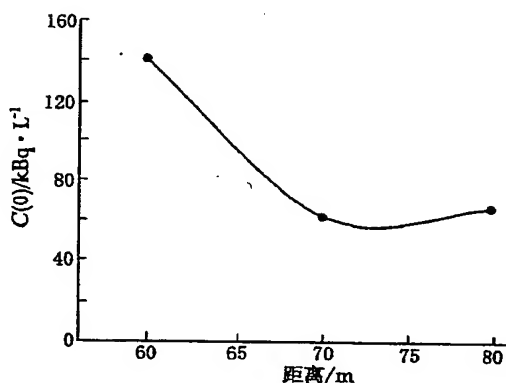


图3 T2核试验(千吨级)中  
 $^{37}\text{Ar}$ 泄漏速率与位置之间的关系  
Fig.3 Response of  $^{37}\text{Ar}$  venting rate as explosion  
distance for T2 underground nuclear test  
(with a yield of several kilotons)

T1和T2是两次威力差异较大的核试验,T1的爆炸威力比T2高出近10倍,试验进行的时间、场区地质结构也有一定差异。在现场测试时间有限的情况下,考虑到威力不同造成的破坏区大小及释放气体总量不同,实验从监测 $^{37}\text{Ar}$ 的下限能力出发,取样点的距离在两次实验中没有兼顾。对高威力的T1核试验,取样点离爆心远一些;对低威力的T2核试验,取样点离爆心相对近一些。

显然,两条曲线迥然不同。地下核爆炸时,爆炸产生的冲击波达到地面并与其作用,有时可将爆心上方的地面上抛1 m以上。这种强烈的震动可以造成局部的岩崩、表面裂隙。气体放射性核素由于爆后的射流和扩散,可沿着断层和裂隙到达地面。通常,断层和裂隙越大的地方,气体放射性核素的泄漏速率越快,泄漏气体中 $^{37}\text{Ar}$ 的放射性浓度也越高。但断层和裂隙的大小取决于爆炸的威力、核装置的埋深、爆心周围介质地质结构等诸多因素,而且这些因素对每一次核试验都不尽相同,没有固定的规律性。因此,仅从有限的样品分析无法得出 $^{37}\text{Ar}$ 泄漏速率的空间分布规律。

### 4 结论

现场实验表明,通过监测 $^{37}\text{Ar}$ 的放射性强度来探测地下核试验是可行的。在现场视察中,

应尽量沿核试验场地或可疑区域地面下的地质断层和裂隙或爆炸产生的断层和裂隙取样,以便获取较高浓度的 $^{37}\text{Ar}$ 泄漏气体。

参考文献:

- [1] Carrigan C. A Powerful New Tool to Detect Clandestine Nuclear Tests[J]. Sci Technol Rev, 1997, (1): 24-26.
- [2] Runchey RC. Treatise on the Measurement of Radioactive Argon in the Atmosphere: AD-A172525/8/HDM[R]. USA: Atom Development Administration, 1984.

## Application of $^{37}\text{Ar}$ in the Verification of a Clandestine Nuclear Test

DUAN Rong-liang, LIU Su-ping, YANG Xiao-bo, CHEN Yin-liang, GONG Jian,  
LIU Shu-xing, YAO Qiong-ying, XIONG Zong-hua

(Institute of Nuclear Physics and Chemistry, P. O. Box 525-75, Chengdu 610003, China)

**Abstract:** The techniques of collection, extraction and measurement of radionuclide  $^{37}\text{Ar}$  in the gas venting from an underground nuclear explosion are described. The responses of venting rate as explosion time or distance are specifically studied. The research indicates that it is feasible to verify an underground nuclear test by monitoring  $^{37}\text{Ar}$  sample from the underground soil.

**Key words:** nuclear test; on-site inspection; radionuclide;  $^{37}\text{Ar}$